

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-332291

(43)Date of publication of application : 30.11.2000

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
H01S 5/323

(21)Application number : 11-136270

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 17.05.1999

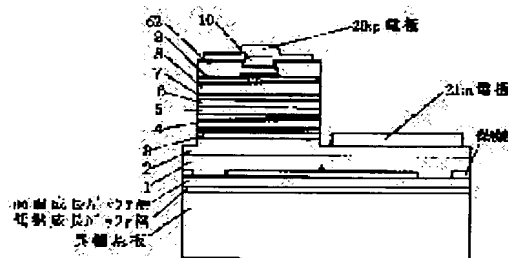
(72)Inventor : OZAKI NORIYA

(54) END PLANE LIGHT EMITTING DIODE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce a spot of light beams as a minute light source of a color laser printer, etc., by a method wherein a nitride semiconductor laser element having a wave guide path is operated with a current of less than a threshold current in a current-optical output characteristic, and lights emitted from an end plane are used as light emitting diode beams.

SOLUTION: In a nitride semiconductor laser element having a device structure forming a wave guide path which is superior in confining lasers, it is operated with a current to such a degree that laser beams are not oscillated, namely a current of less than a threshold current, whereby emitted lights are fetched out from an end plane relevant to a resonance plane to externally, thereby obtaining blue and green colors, and obtaining an end plane light emitting diode which can use these lights for a minute light source, a display, a color laser printer, or the like. Incidentally, in the wave guide path, at least an n-type guide layer 5, an active layer 6 of a quantum well structure containing In, a p-type electronic confining layer 7, and a p-type guide layer 8 are laminated in this order between clad layers 4 and 9 containing Al.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

J1036 U.S. PRO
09/944180

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-332291

(P 2 0 0 0 - 3 3 2 2 9 1 A)

(43)公開日 平成12年11月30日(2000. 11. 30)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	ターマコード	(参考)
H01L 33/00		H01L 33/00	C 5F041	
H01S 5/323		H01S 3/18	673 5F073	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全10頁)

(21)出願番号 特願平11-136270

(22)出願日 平成11年5月17日(1999. 5. 17)

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 小崎 徳也

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA11 CA05 CA14 CA23 CA34

CA40 CA46 CA65 CA74

5F073 AA07 AA13 AA45 AA51 AA74

AA83 CA07 CB05 CB07 CB20

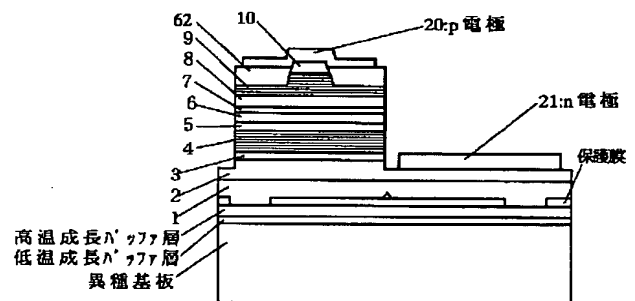
DA05 DA25 EA05

(54) 【発明の名称】 端面発光型発光ダイオード

(57) 【要約】

【課題】 カラーレーザプリンターやバーチャル・リアリティなどに用いられる微少光源として光ビームのスポットサイズを小さくできる470nm付近の青色及び530nm付近の緑色の波長の発光が可能な端面発光型発光ダイオードを提供することである。

【解決手段】 導波路を有する窒化物半導体レーザ素子を、電流－光出力特性におけるしきい値電流未満の電流で動作し、端面から放出する光を発光ダイオード光として用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 導波路を有する窒化物半導体レーザ素子を、電流-光出力特性におけるしきい値電流未満の電流で動作し、端面から放出する光を発光ダイオード光として用いることを特徴とする端面発光型発光ダイオード。

【請求項2】 前記導波路が、Alを含んでなるn型クラッド層とAlを含んでなるp型クラッド層との間に少なくとも順に、ガイド層、Inを井戸層に含んでなる量子井戸構造の活性層、キャップ層、及びガイド層を積層してなることを特徴とする請求項1に記載の端面発光型発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光ダイオード、レーザダイオード等の発光素子、又は太陽電池、光センサー等の受光素子に使用可能な窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{N}$, $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) からなる窒化物半導体素子に関し、特に、レーザ素子のデバイス構造を有する窒化物半導体素子を、しきい値電流以下の電流で動作させ共振面から発光ダイオード光を放出させる端面発光型発光ダイオードに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、本発明者等は、実用可能な400nm付近の波長を有する青紫色の窒化物半導体レーザ素子を発表している。例えば、Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37 (1998) pp. L309-L312に、GaN基板上に、n型GaN層、n型InGaN層、n型AlGaN/GaNのMD-SLS (超格子構造) 層、n型GaN層、 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}/\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ の多重量子井戸の活性層、p型AlGaN層、p型GaN層、p型AlGaN/GaNのMD-SLS層、p型GaN層が積層されてなるレーザ素子が開示されている。このような、短波長のレーザ素子が実用可能となると、レーザ素子を応用した製品における情報記録容量の増大が可能となる。またさらに、従来レーザプリンターには、複雑で高価であるにもかかわらず、信頼性が低く性能も十分でないガスレーザが用いられていたが、短波長のレーザ素子が実用可能となることで、コンパクトで、安価で、信頼性の高い性能がえられ、しかも解像度の向上による高画質化が可能となる。

【0003】また、本出願人は、発光出力が高い青色及び緑色の窒化物半導体発光ダイオードをディスプレイなどの光源として実用化している。例えば、発光ダイオードとして、特開平9-153642号公報には、サファイア基板上に、GaNからなるバッファ層、Siドープのn型GaN層、アンドープのInGaNからなる活性層、Mgドープのp型AlGaN層、Mgドープのp型GaN層からなる発光ダイオードが記載されている。この技術では、発光ダイオードの発光出力及び発光効率を向上させることを達成している。そして、上記のような

発光ダイオードにより、高光度のフルカラーのディスプレイが可能となる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、レーザ素子を、レーザディスプレイやカラーコピーに用いるには、レーザ素子から得られる光の波長を、青色(470nm付近)及び緑色(530nm付近)の波長に調整することが望まれるが、このような波長を有するレーザ素子は十分満足できる特性を有していない。つまり、上記の400nm付近のレーザ光を有するレーザ素子の構造において、活性層の井戸層のInの組成比を大きくすれば波長が長波長側にシフトするが、In組成比を大きくすると結晶性が低下し易くなり、十分な連続発振が得られ難くなる。また、上記の発光ダイオードは、大型ディスプレイの光源として用いられているが、この大型ディスプレイに用いられている発光ダイオードでは、例えばバーチャル・リアリティーなどの微少光源として用いる場合、光の広がりが大きく十分満足できるものでない。

【0005】そこで、本発明の目的は、カラーレーザプリンターやバーチャル・リアリティーなどに用いられる微少光源として光ビームのスポットサイズを小さくできる470nm付近の青色及び530nm付近の緑色の波長の発光が可能な端面発光型発光ダイオードを提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明の目的は、下記(1)～(2)の構成により達成することができる。

(1) 導波路を有する窒化物半導体レーザ素子を、電流-光出力特性におけるしきい値電流未満の電流で動作し、端面から放出する光を発光ダイオード光として用いることを特徴とする端面発光型発光ダイオード。

(2) 前記導波路が、Alを含んでなるn型クラッド層とAlを含んでなるp型クラッド層との間に少なくとも順に、ガイド層、Inを井戸層に含んでなる量子井戸構造の活性層、キャップ層、及びガイド層を積層してなることを特徴とする前記(1)に記載の端面発光型発光ダイオード。

【0007】つまり、本発明は、上記の如く、光の閉じ込めが良好な導波路を形成してなるデバイス構造を有する窒化物半導体レーザ素子を、レーザ光が発振しない程度の電流、即ち、しきい値電流未満の電流で動作させることで、共振面に相当する端面から発光を外部に取り出すことで、青色及び緑色の光が得られ、この光を微少光源、ディスプレイ、カラーレーザプリンターなどに使用が可能となる端面発光型発光ダイオードを提供することができる。

【0008】前記したように、400nm付近の青紫色のレーザ光を、純青色や純緑色にする場合は、活性層の井戸層のIn組成比を大きくすることで長波長側へ波長

をシフトさせることができるが、In組成比が大きいと結晶性が低下する傾向があり、青色及び緑色のレーザ素子が得られ難かった。また、従来公知の発光ダイオードでは、やや発光点が大きく集光などの応用が困難である。

【0009】これに対し、本発明は、導波路を形成してなるレーザ素子のデバイス構造を有する素子を、意図的にレーザ発振に至る電流より小さい電流で動作させることで、共振面に相当する端面から青色及び緑色の発光が可能となり、更に、導波路内で光が閉じ込められるので、発光点が小さく微少光源等として使用することができるものである。本発明は、このように発光ダイオード光を得るには一見不必要と感じる導波路を有する素子を、あえてしきい値電流未満の小さい電流で動作させ自然放出光を端面から取り出すことで、微少光源などとして応用可能な端面発光型発光ダイオードを可能にする。ちなみに、レーザ発振をするには結晶性が大きく関与しレーザ発振条件が厳しいが、発光ダイオード光を得るには条件が緩和され発光し易くなる。

【0010】更に、本発明は、導波路が、Alを含んでなるn型クラッド層とAlを含んでなるp型クラッド層との間に少なくとも順に、ガイド層、Inを井戸層に含んでなる量子井戸構造の活性層、キャップ層、及びガイド層を積層してなると、光の閉じ込めが良好となり発光点が小さく微少光源として良好な光となると共に、発光が良好に行われ好ましい。

【0011】端面発光型発光ダイオードは、全面発光型発光ダイオードに比べ、光出力は低下するが、発光点が小さく微少光源として使用できる。また発光点が小さいので集光などの応用が容易となる。また、端面発光型発光ダイオードは、短波長側の吸収により、スペクトル幅の狭い発光となる。また更に、端面発光型発光ダイオードは、誘導放出成分が入りやすいため、スーパーリニアな特性になりやすい。窒化ガリウム系半導体により実用的レベルの青色及び緑色レーザを作るのは、青色や緑色のLEDを作るのに比べて困難であるが、レーザ発振に至る電流より小さい動作電流で使用するなら、自然放出光として青色や緑色発光が可能である。そして、この発光を光源として使用する場合、素子構造は導波路を有するレーザ構造のため、端面の光ビームのスポットサイズがほぼ $10\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ と小さく微少光源として利用できる。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明の端面発光型発光ダイオードとしては、少なくとも導波路を形成する素子構造を有する窒化物半導体レーザ素子と同様の素子構造を有していればよく、公知の種々の窒化物半導体レーザ素子の素子構造を用いることができる。但し、純青色及び純緑色の自然放出光を得るためには、活性層のIn組成比を調整し発光する波長を調整する。そして、このような導波

路を形成してなる素子構造を有する素子を、レーザ発振に至る電流より小さい動作電流（しきい値電流未満の電流）で使用することで、共振面に相当する端面から自然放出光を外部的に取り出すことができる。この端面から取り出される自然放出光は、活性層で発生し導波路内で閉じ込められているため、発光点が小さく微少光源等として用いることができる。さらに、本発明の端面発光型発光ダイオードとして、好ましくは、導波路が、Alを含んでなるn型クラッド層とAlを含んでなるp型クラッド層との間に少なくとも順に、ガイド層、Inを井戸層に含んでなる量子井戸構造の活性層、キャップ層、及びガイド層を積層してなる素子構造であるものが挙げられる。例えば、素子構造として具体的には、図1に示される素子構造を有する素子を好ましい一実施の形態として挙げるることができる。しかし本発明はこれに限定されない。また、以下の説明の中で、しきい値を低下させるのに好ましい記載があるが、本発明はしきい値電流未満の電流で動作させるため、しきい値が低下すれば、例えば低消費電力や寿命特性の向上等が可能となり好ましい。

【0013】以下に、図1を用いて本発明の端面発光型発光ダイオードについて更に詳細に説明する。図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体からなる端面発光型発光ダイオードを示す模式的断面図である。図1には、サファイア等の異種基板上にELOG成長させた窒化物半導体基板1上に、n型不純物（例えばSi）をドーピングしてなる $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) よりなるn型コンタクト層2、Siドーピングの $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0.05 \leq y \leq 0.2$) よりなるクラック防止層3、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ ($0.05 \leq e < 0.15$) を含んでなる多層膜のn型クラッド層4、アンドープのGaNからなるn型ガイド層5、 $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b < 1$) からなる多重量子井戸構造の活性層6、Mgドーピングの $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d \leq 1$) からなる少なくとも1層以上のp型電子閉じ込め層7、アンドープのGaNからなるp型ガイド層8、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ ($0 < f \leq 1$) を含んでなる多層膜のp型クラッド層9、MgドーピングのGaNからなるp型コンタクト層10からなるリッジ形状のストライプを有する窒化物半導体からなる端面発光型発光ダイオードが示されている。また、p電極は、リッジ形状のストライプの最上層に形成され、n電極はn型コンタクト層上に形成される。以下に各層について更に詳細に説明する。

【0014】ELOG成長について以下に説明する。本発明で用いることのできるELOG成長は、窒化物半導体の縦方向の成長を少なくとも部分的に一時的止めて、横方向の成長を利用して転位を抑制することのできる成長方法であれば特に限定されない。例えば具体的に、窒化物半導体と異なる材料からなる異種基板上に、窒化物半導体が成長しないかまたは成長しにくい材料からなる保護膜を部分的に形成し、その上から窒化物半導体を成

10

20

30

40

50

長させることにより、保護膜が形成されていない部分から窒化物半導体が成長し、成長を続けることにより保護膜上に向かって横方向に成長することにより厚膜の窒化物半導体を得られる。

【0015】異種基板としては、窒化物窒化物半導体と異なる材料よりなる基板であれば特に限定されず、例えば、図2に示すC面、R面、A面を主面とするサファイア、スピネル ($MgAl_2O_4$) のような絶縁性基板、SiC (6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、従来知られている窒化物半導体と異なる基板材料を用いることができる。上記の中で好ましい異種基板としては、サファイアであり、更に好ましくはサファイアのC面である。更に、ELOG成長して得られる窒化物半導体の内部に微細なクラックの発生を防止できる等の点から、サファイアのC面がステップ状にオフアングルされ、オフアングル角 θ (図3に示される θ) が $0.1^\circ \sim 0.3^\circ$ の範囲のものが好ましい。オフアングル角 θ が 0.1° 未満であると素子の特性が安定し易くなり、またELOG成長の窒化物半導体の内部に微細なクラックが発生しやすくなる傾向があり、一方オフ角が 0.3° を超えると、ELOG成長の窒化物半導体の面状態がステップ状になり、その上に素子構造を成長させるとステップが若干強調され、素子のショート及びしきい値上昇を招き易くなる傾向がある。

【0016】上記のようなステップ状にオフアングルされたサファイア等の異種基板上に、保護膜を、直接又は一旦窒化物半導体を成長させてから形成する。保護膜としては、保護膜表面に窒化物半導体が成長しないかまたは成長しにくい性質を有する材料であれば特に限定されないが、例えば酸化ケイ素 (SiO_2)、窒化ケイ素 (Si_3N_4)、酸化チタン (TiO_2)、酸化ジルコニウム (ZrO_2) 等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜の他、 $1200^\circ C$ 以上の融点を有する金属等を用いることができる。好ましい保護膜材料としては、SiO₂、及びSiNが挙げられる。保護膜材料を窒化物半導体等の表面に形成するには、例えば蒸着、スパッタ、CVD等の気相製膜技術を用いることができる。また、部分的 (選択的) に形成するためには、フォトリソグラフィ技術を用いて、所定の形状を有するフォトマスクを製作し、そのフォトマスクを介して、前記材料を気相製膜することにより、所定の形状を有する保護膜を形成できる。保護膜の形状は、特に限定されないが、例えばドット、ストライプ、基盤面状の形状で形成でき、好ましくはストライプ状の形状でストライプがオリエンテーションフラット面 (サファイアのA面) に垂直になるように形成される。また保護膜が形成されている表面積は、保護膜が形成されていない部分の表面積より大きい方が転位を防止して良好な結晶性を有する窒化物半導体基板を得ることができる。

【0017】また、保護膜がストライプ形状である場合の保護膜のストライプ幅と保護膜が形成されていない部分 (窓部) の幅との関係は、 $10:3$ 以上、好ましくは $16 \sim 18:3$ である。保護膜のストライプ幅と窓部の幅が上記の関係にあると、窒化物半導体が良好の保護膜を覆い易くなり、且つ転位を良好に防止することができる。保護膜のストライプ幅としては、例えば $6 \sim 27 \mu m$ 、好ましくは $11 \sim 24 \mu m$ であり、窓部の幅としては、例えば $2 \sim 5 \mu m$ 、好ましくは $2 \sim 4 \mu m$ である。また、ELOG成長して得られる窒化物半導体上に素子構造を形成しp型窒化物半導体層の最上層にリッジ形状のストライプを形成する場合、リッジ形状のストライプが、保護膜上部であって、且つ保護膜の中心部分を避けて形成されていることがしきい値を低下させることができ、素子の信頼性を向上させるのに好ましい。このことは、保護膜上部の窒化物半導体の結晶性は、窓部上部のその結晶性に比べて良好であるためしきい値を低下させるのに好ましいからである。また保護膜の中心付近は、窓部から成長した隣接する窒化物半導体同士が横方向の成長によって接合する部分でありこのような接合箇所空隙の生じる場合があり、この空隙の上部にリッジ形状のストライプが形成されると、素子の動作中に空隙から転位が伝播し易いため素子の信頼性が劣化する傾向があるからである。

【0018】保護膜は、異種基板に直接形成されてもよいが、低温成長のバッファ層を形成させ、更に高温成長の窒化物半導体を成長させた上に、形成させることが転位を防止するのに好ましい。低温成長のバッファ層としては、例えばAlN、GaN、AlGaN、及びInGaN等のいずれかを $900^\circ C$ 以下 $200^\circ C$ 以上の温度で、膜厚数十オングストローム～数百オングストロームで成長させてなるものである。このバッファ層は、異種基板と高温成長の窒化物半導体層との格子定数不正を緩和し転位の発生を防止するのに好ましい。高温成長のバッファ層としては、アンドープのGaN、n型不純物をドーブしたGaN、またSiをドーブしたGaNを用いることができ、好ましくはアンドープのGaNである。またこれらの窒化物半導体は、高温、具体的には $900^\circ C \sim 1100^\circ C$ 、好ましくは $1050^\circ C$ でバッファ層上に成長される。膜厚は特に限定されないが、例えば $1 \sim 20 \mu m$ 、好ましくは $2 \sim 10 \mu m$ である。

【0019】次に保護膜を形成した上に、窒化物半導体をELOG成長させて窒化物半導体基板1を得る。この場合、成長させる窒化物半導体としては、アンドープのGaN又は不純物 (例えばSi、Ge、Sn、Be、Zn、Mn、Cr、及びMg) をドーブしたGaNが挙げられる。成長温度としては、例えば $900^\circ C \sim 1100^\circ C$ 、より具体的には $1050^\circ C$ 付近の温度で成長させる。不純物がドーブされていると転位を抑制するのに好ましい。保護膜上に成長させる初期は、成長速度をコン

トロールし易いMOCVD(有機金属化学気相成長法)等で成長させ、保護膜がELOG成長の窒化物半導体で覆われた後の成長をHVPE(ハライド気相成長法)等で成長させてもよい。

【0020】また、本発明において、窒化物半導体基板1を形成する方法としては、上記のELOG成長以外に種々のELOG成長を用いることができるが、例えば好ましくは本出願人が出願した特願平11-80288、同11-37826、同11-37827、各号明細書に記載の方法を用いることができる。更に前記特願平11-37827号明細書に記載のELOG成長をする場合、同号明細書に記載の第1の窒化物半導体層2をエッチングして凹凸を形成する際に、異種基板(サファイアなど)が露出するまでエッチングしてストライプ状の凹凸を形成し、その後、常圧の条件下で、第2の窒化物半導体層3を成長させることが転位の低減と表面の面状態を良好とする点で好ましい。

【0021】上記のようなELOG成長により得られた窒化物半導体基板1上に、素子構造を成長させる。

(n型コンタクト層2) まず、n型コンタクト層2を窒化物半導体基板1上に成長させる。n型コンタクト層としては、n型不純物(好ましくはSi)をドーブされた $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) を成長させ、好ましくは x が $0.01 \sim 0.05$ の $Al_xGa_{1-x}N$ を成長させる。n型コンタクト層がAlを含む3元混晶で形成されると、窒化物半導体基板1に微細なクラックが発生していても、微細なクラックの伝播を防止することができ、更に従来の問題点であった窒化物半導体基板1とn型コンタクト層との格子定数及び熱膨張係数の相違によるn型コンタクト層への微細なクラックの発生を防止することができ好ましい。n型不純物のドーブ量としては、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。このn型コンタクト層2にn電極が形成される。n型コンタクト層2の膜厚としては、 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ である。また、窒化物半導体基板1とn型コンタクト層2との間に、アンドープの $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) を成長させてもよく、このアンドープの層を成長させると結晶性が良好となり、寿命特性を向上させるのに好ましい。アンドープn型コンタクト層の膜厚は、数 μm である。

【0022】(クラック防止層3) 次に、クラック防止層3をn型コンタクト層2上に成長させる。クラック防止層3としては、Siドーブの $In_xGa_{1-x}N$ ($0.05 \leq x \leq 0.2$) を成長させ、好ましくは x が $0.05 \sim 0.08$ の $In_xGa_{1-x}N$ を成長させる。このクラック防止層3は、省略することができるが、クラック防止層3をn型コンタクト層2上に形成すると、素子内のクラックの発生を防止するのに好ましい。Siのドーブ量としては、 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。また、クラック防止層3を成長させる際に、Inの混晶比を大きく($x \geq 0.1$)すると、クラック防止層3が、活性層6から

発光しn型クラッド層4から漏れ出した光を吸収することができ、端面から放出される光のファーフールドパターンの乱れを防止することができ好ましい。クラック防止層の膜厚としては、結晶性を損なわない程度の厚みであり、例えば具体的には $0.05 \sim 0.3 \mu\text{m}$ である。

【0023】(n型クラッド層4) 次に、n型クラッド層4をクラック防止層3上に成長させる。n型クラッド層4としては、 $Al_eGa_{1-e}N$ ($0.05 \leq e < 0.15$)を含む窒化半導体を有する多層膜の層として形成される。多層膜とは、互いに組成が異なる窒化物半導体層を積層した多層膜構造を示し、例えば、 $Al_eGa_{1-e}N$ ($0.12 \leq e < 0.15$)層と、この $Al_eGa_{1-e}N$ と組成の異なる窒化物半導体、例えばAlの混晶比の異なるもの、Inを含んでなる3元混晶のもの、又はGaN等からなる層とを組み合わせる積層してなるものである。この中で好ましい組み合わせとしては、 $Al_eGa_{1-e}N$ とGaNとを積層してなる多層膜とすると、同一温度で結晶性の良い窒化物半導体層が積層でき好ましい。より好ましい多層膜としては、アンドープの $Al_eGa_{1-e}N$ とn型不純物(例えばSi)ドーブのGaNとを積層してなる組み合わせである。n型不純物は、 $Al_eGa_{1-e}N$ にドーブされてもよい。n型不純物のドーブ量は、 $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。n型不純物がこの範囲でドーブされていると抵抗率を低くでき且つ結晶性を損なわない。このような多層膜は、単一層の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは40オングストローム以下、好ましくは10オングストローム以上の膜厚の窒化物半導体層を積層してなる。単一の膜厚が100オングストローム以下であるとn型クラッド層が超格子構造となり、Alを含有しているにもかかわらず、クラックの発生を防止でき結晶性を良好にすることができる。また、n型クラッド層4の総膜厚としては、 $0.7 \sim 2 \mu\text{m}$ である。またn型クラッド層の全体のAlの平均組成は、 $0.03 \sim 0.1$ である。Alの平均組成がこの範囲であると、クラックを発生させない程度の組成比で、且つ十分にレーザ導波路との屈折率の差を得るのに好ましい組成比である。

【0024】(n型ガイド層5) 次に、n型ガイド層5をn型クラッド層4上に成長させる。n型ガイド層5としては、アンドープのGaNからなる窒化物半導体を成長させる。n型ガイド層5の膜厚としては、 $0.25 \sim 0.07 \mu\text{m}$ であるとしきい値が低下し好ましい。n型ガイド層4をアンドープとすることで、レーザ導波路内の伝搬損失が減少し、しきい値が低くなり好ましい。

【0025】(活性層6) 次に、活性層6をn型ガイド層5上に成長させる。活性層としては、 $In_bGa_{1-b}N$ ($0 \leq b < 1$)を含んでなる多重量子井戸構造である。活性層6の井戸層としては、純青色の場合は b が 0.3

5⁰~0.5のIn_{0.5}Ga_{0.5}Nであり、純緑色の場合はbが0.5~0.7のIn_{0.5}Ga_{0.5}Nであり、この井戸層のbの値は、動作すると波長がやや短波長側にシフトする傾向があるため、前記範囲内で適宜調整される。また活性層6の障壁層としては、bが0~0.01のIn_{0.5}Ga_{0.5}Nである。また活性層6を構成する井戸層及び障壁層のいずれか一方または両方に不純物をドーピングしてもよい。井戸層の膜厚としては、10~60オングストロームであり、障壁層の膜厚としては、90~250オングストロームである。

【0026】活性層6の多重量子井戸構造は、障壁層から始まり井戸層で終わっても、障壁層から始まり障壁層で終わっても、井戸層から始まり障壁層で終わっても、また井戸層から始まり井戸層で終わってもよい。好ましくは障壁層から始まり、井戸層と障壁層とのペアを2~5回繰り返してなるもの、好ましくは井戸層と障壁層とのペアを3回繰り返してなるものがしきい値を低くし寿命特性を向上させるのに好ましい。

【0027】(p型電子閉じ込め層7)次に、p型電子閉じ込め層7を活性層6上に成長させる。p型電子閉じ込め層7としては、MgドーピングのAl_{0.5}Ga_{0.5}N(0<d≤1)からなる少なくとも1層以上を成長させてなるものである。好ましくはdが0.1~0.5のMgドーピングのAl_{0.5}Ga_{0.5}Nである。p型電子閉じ込め層7の膜厚は、10~1000オングストローム、好ましくは50~200オングストロームである。膜厚が上記範囲であると、活性層6内の電子を良好に閉じ込めることができ、且つバルク抵抗も低く抑えることができ好ましい。またp型電子閉じ込め層7のMgのドーピング量は、1×10¹⁹/cm³~1×10²¹/cm³である。ドーピング量がこの範囲であると、バルク抵抗を低下させることに加えて、後述のアンドープで成長させるp型ガイド層へMgが良好に拡散され、薄膜層であるp型ガイド層8にMgを1×10¹⁶/cm³~1×10¹⁸/cm³の範囲で含有させることができる。またp型電子閉じ込め層7は、低温、例えば850~950℃程度の活性層を成長させる温度と同様の温度で成長させると活性層の分解を防止することができ好ましい。またp型電子閉じ込め層7は、低温成長の層と、高温、例えば活性層の成長温度より100℃程度の温度で成長させる層との2層から構成されていてもよい。このように、2層で構成されていると、低温成長の層が活性層の分解を防止し、高温成長の層がバルク抵抗を低下させるので、全体的に良好となる。またp型電子閉じ込め層7が2層から構成される場合の各層の膜厚は、特に限定されないが、低温成長層は10~50オングストローム、高温成長層は50~150オングストロームが好ましい。

【0028】(p型ガイド層8)次に、p型ガイド層8をp型電子閉じ込め層7上に成長させる。p型ガイド層8としては、アンドープのGaNからなる窒化物半導体

層として成長させてなるものである。膜厚は0.25~0.07μmであり、この範囲であるとしきい値が低くなり好ましい。また上記したように、p型ガイド層はアンドープ層として成長させるが、p型電子閉じ込め層7にドーピングされているMgが拡散して、1×10¹⁶/cm³~1×10¹⁸/cm³の範囲でMgが含有される。

【0029】(p型クラッド層9)次に、p型クラッド層9をp型ガイド層8に成長させる。p型クラッド層としては、Al_fGa_{1-f}N(0<f≤1)を含んでなる窒化物半導体層、好ましくはAl_fGa_{1-f}N(0.05≤f≤0.15)を含んでなる窒化物半導体層を有する多層膜の層として形成される。多層膜とは、互いに組成が異なる窒化物半導体層を積層した多層膜構造であり、例えば、Al_fGa_{1-f}N層と、Al_fGa_{1-f}Nと組成の異なる窒化物半導体、例えばAlの混晶比の異なるもの、Inを含んでなる3元混晶のもの、又はGaN等からなる層とを組み合わせる積層してなるものである。この中で好ましい組み合わせとしては、Al_fGa_{1-f}NとGaNとを積層してなる多層膜とすると、同一温度で結晶性の良い窒化物半導体層が積層でき好ましい。より好ましい多層膜としては、アンドープのAl_fGa_{1-f}Nとp型不純物(例えばMg)ドーピングのGaNとを積層してなる組み合わせである。p型不純物は、Al_fGa_{1-f}Nにドーピングされてもよい。p型不純物のドーピング量は、1×10¹⁷/cm³~1×10¹⁹/cm³である。p型不純物がこの範囲でドーピングされていると結晶性を損なわない程度のドーピング量で且つバルク抵抗が低くなり好ましい。このような多層膜は、単一の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは40オングストローム以下、好ましくは10オングストローム以上の膜厚の窒化物半導体層を積層してなる。単一の膜厚が100オングストローム以下であるとn型クラッド層が超格子構造となり、Alを含有しているにもかかわらず、クラックの発生を防止でき結晶性を良好にすることができる。p型クラッド層9の総膜厚としては、0.4~0.5μmであり、この範囲であると順方向電圧(V_f)を低減するために好ましい。またp型クラッド層の全体のAlの平均組成は、0.03~0.1である。この値は、クラックの発生を抑制し且つレーザ導波路との屈折率差を得るのに好ましい。

【0030】(p型コンタクト層10)次に、p型コンタクト層10をp型クラッド層9上に成長させる。p型コンタクト層としては、MgドーピングのGaNからなる窒化物半導体層を成長させてなるものである。膜厚は10~200オングストロームである。Mgのドーピング量は1×10¹⁹/cm³~1×10²²/cm³である。このように膜厚とMgのドーピング量を調整することにより、p型コンタクト層のキャリア濃度が上昇し、p電極とのオーミックがとりやすくなる。

【0031】また、本発明の素子は、リッジ形状のスト

ライブを有していることが好ましい。本発明の素子において、リッジ形状のストライブは、p型コンタクト層からエッチングされてp型コンタクト層よりも下側（基板側）までエッチングされることにより形成される。例えば図1に示すようなp型コンタクト層10からp型クラッド層9の途中までエッチングしてなるストライブ、又はp型コンタクト層10からn型コンタクト層2までエッチングしてなるストライブなどが挙げられる。

【0032】エッチングして形成されたリッジ形状のストライブの側面やその側面に連続した窒化物半導体層の平面に、例えば図1に示すように、導波路領域の屈折率より小さい値を有する絶縁膜が形成されている。ストライブの側面等に形成される絶縁膜としては、例えば、屈折率が約1.6~2.3付近の値を有する、Si、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物や、BN、AlN等が挙げられ、好ましくは、Zr及びHfの酸化物のいずれか1種以上の元素や、BNである。さらにこの絶縁膜を介してストライブの最上層にあるp型コンタクト層10の表面にp電極が形成される。エッチングして形成されるリッジ形状のストライブの幅としては、0.5~4μm、好ましくは1~3μmである。ストライブの幅がこの範囲であると、水平横モードが単一モードになり易く好ましい。また、エッチングがp型クラッド層9と導波路領域との界面よりも基板側にかけてなされていると、アスペクト比を1に近づけるのに好ましい。以上のように、リッジ形状のストライブのエッチング量や、ストライブ幅、さらにストライブの側面の絶縁膜の屈折率などを特定すると、単一モードの光が得られ、さらにアスペクト比を1に近づく円形に近づけられ、端面の光ビームやレンズ設計が容易となり好ましい。また本発明の素子において、p電極やn電極等は従来公知の種々のものを適宜選択して用いることができる。また、本発明は、主として純青色及び純緑色の端面発光型発光ダイオードに関するものであるが、活性層のIn組成比を調整して得られる種々の波長の端面発光型発光ダイオードも可能である。

【0033】

【実施例】以下に本発明の一実施の形態である実施例を示す。しかし本発明はこれに限定されない。また、本実施例はMOVPE（有機金属気相成長法）について示すものであるが、本発明の方法は、MOVPE法に限るものではなく、例えばHVPE（ハライド気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。

【0034】【実施例1】実施例1として、図1に示される本発明の一実施の形態である窒化物半導体からなる端面発光型発光ダイオードを製造する。

【0035】異種基板として、図3に示すようにステップ状にオフアングルされたC面を主面とし、オフアング

ル角 $\theta=0.15^\circ$ 、ステップ段差およそ20オングストローム、テラス幅Wおよそ800オングストロームであり、オリフラ面をA面とし、ステップがA面に垂直であるサファイア基板を用意する。このサファイア基板を反応容器内にセットし、温度を510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、サファイア基板上にGaNよりなる低温成長のバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させ、1050℃になったら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープのGaNからなる高温成長のバッファ層を5μmの膜厚で成長させる。次に、高温成長のバッファ層を積層したウェーハ上にストライブ状のフォトマスクを形成し、CVD装置によりストライブ幅18μm、窓部の幅3μmのSiO₂よりなる保護膜を0.1μmの膜厚で形成する。保護膜のストライブ方向はサファイアA面に対して垂直な方向である。保護膜形成後、ウェーハを反応容器に移し、1050℃にて、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなる窒化物半導体層を15μmの膜厚で成長させ窒化物半導体基板1とする。得られた窒化物半導体を窒化物半導体基板1として以下の素子構造を積層成長させる。

【0036】（アンドープn型コンタクト層）[図1には図示されていない]

窒化物半導体基板1上に、1050℃で原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）、TMG、アンモニアガスを用いアンドープのAl_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなるn型コンタクト層を1μmの膜厚で成長させる。

（n型コンタクト層2）次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアガスを用い、不純物ガスにシランガス（SiH₄）を用い、Siを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなるn型コンタクト層2を3μmの膜厚で成長させる。成長されたn型コンタクト層2には、微細なクラックが発生しておらず、微細なクラックの発生が良好に防止されている。また、窒化物半導体基板1に微細なクラックが生じていても、n型コンタクト層2を成長させることで微細なクラックの伝播を防止でき結晶性の良好な素子構造を成長させることができる。結晶性の改善は、n型コンタクト層2のみの場合より、上記のようにアンドープn型コンタクト層を成長させることによりより良好となる。

【0037】（クラック防止層3）次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMG、TMI（トリメチルインジウム）及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなるクラック防止層3を0.15μmの膜厚で成長させる。

【0038】（n型クラッド層4）次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニア

10

20

30

40

50

を用い、アンドープの $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるA層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGa N よりなるB層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ160回繰り返してA層とB層の積層し、総膜厚8000オングストロームの多層膜(超格子構造)よりなるn型クラッド層4を成長させる。

【0039】(n型ガイド層5)次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGa N よりなるn型ガイド層を0.075 μm の膜厚で成長させる。

【0040】(活性層6)次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{N}$ よりなる井戸層を20オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を3回繰り返して、最後に障壁層を積層した総膜厚460オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層6を成長させる。

【0041】(p型電子閉じ込め層7)次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるp型電子閉じ込め層7を100オングストロームの膜厚で成長させる。

【0042】(p型ガイド層8)次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGa N よりなるp型ガイド層8を0.075 μm の膜厚で成長させる。このp型ガイド層8は、アンドープとして成長させるが、p型電子閉じ込め層7からのMgの拡散により、Mg濃度が $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となりp型を示す。

【0043】(p型クラッド層9)次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープの $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるA層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとして Cp_2Mg を用い、Mgを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGa N よりなるB層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ100回繰り返してA層とB層の積層し、総膜厚5000オングストロームの多層膜(超格子構造)よりなるp型クラッド層9を成長させる。

【0044】(p型コンタクト層10)次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたGa N よりなるp型コンタクト層10を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0045】反応終了後、反応容器内において、ウェーハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p型層を更に低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面に SiO_2 よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッチング)を用い SiCl_4 ガスによりエッチングし、図4に示すように、n電極を形成すべきn側コンタクト層2の表面を露出させる。次に図4(a)に示すように、最上層のp側コンタクト層10のほぼ全面に、PVD装置により、Si酸化物(主として、 SiO_2)よりなる第1の保護膜61を0.5 μm の膜厚で形成した後、第1の保護膜61の上に所定の形状のマスクをかけ、フォトリソよりなる第3の保護膜63を、ストライプ幅1.8 μm 、厚さ1 μm で形成する。次に、図4(b)に示すように第3の保護膜63形成後、RIE(反応性イオンエッチング)装置により、 CF_4 ガスを用い、第3の保護膜63をマスクとして、前記第1の保護膜をエッチングして、ストライプ状とする。その後エッチング液で処理してフォトリソのみを除去することにより、図4(c)に示すようにp側コンタクト層10の上にストライプ幅1.8 μm の第1の保護膜61が形成できる。

【0046】さらに、図4(d)に示すように、ストライプ状の第1の保護膜61形成後、再度RIEにより SiCl_4 ガスを用いて、p側コンタクト層10、およびp側クラッド層9をエッチングして、ストライプ幅1.8 μm のリッジ形状のストライプを形成する。但し、リッジ形状のストライプは、図1に示すように、ELOG成長を行う際に形成した保護膜の上部で且つ保護膜の中心部分を避けるように形成される。リッジストライプ形成後、ウェーハをPVD装置に移送し、図4(e)に示すように、Zr酸化物(主として ZrO_2)よりなる第2の保護膜62を、第1の保護膜61の上と、エッチングにより露出されたp側クラッド層9の上に0.5 μm の膜厚で連続して形成する。このようにZr酸化物を形成すると、p-n面の絶縁をとるためと、横モードの安定を図ることができ好ましい。次に、ウェーハをフッ酸に浸漬し、図4(f)に示すように、第1の保護膜61をリフトオフ法により除去する。

【0047】次に図4(g)に示すように、p側コンタクト層10の上の第1の保護膜61が除去されて露出したそのp側コンタクト層の表面にNi/Auよりなるp電極20を形成する。但しp電極20は100 μm のストライプ幅として、この図に示すように、第2の保護膜62の上に渡って形成する。第2の保護膜62形成後、図1に示されるように露出させたn側コンタクト層2の表面にはTi/Alよりなるn電極21をストライプと平行な方向で形成する。

【0048】以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して70 μm と

した後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバー状に劈開し、劈開面(11-00面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)に共振器を作製する。共振器面にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断して図1に示すような端面発光型発光ダイオードとする。なお共振器長は300~500μmとすることが望ましい。得られた端面発光型発光ダイオードをヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温で発光を試みた。その結果、端面から放出される光は、発光出力が100μWとなるしきい値電流未満の電流で動作させると、波長が530nmで、スポット径が横2~3μm、縦1~2μmの良好な微少発光点を持つ端面発光型発光ダイオードが得られた。

【0049】[実施例2] 実施例1において、p型電子閉じ込め層7を以下のように2層から構成させる他は同様にして窒化物半導体からなる端面発光型発光ダイオードを作製する。

(p型電子閉じ込め層7) 温度を800℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる低温成長のA層を30オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を900℃にして、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる高温成長のB層を70オングストロームの膜厚で成長させてなる低温成長のA層と高温成長のB層との2層からなるp型電子閉じ込め層7を成長させる。得られた端面発光型発光ダイオードは、実施例1と同等の良好な特性を有する。

【0050】[実施例3] 実施例1において、クラック防止層3を成長させる際に、Inの組成比を0.2として、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるクラック防止層3を0.15μmの膜厚で成長させる他は同様にして端面発光型発光ダイオードを作製する。得られた端面発光型発光ダイオードは、実施例1と同等の良好な特性を有し、更に活性層6で発光しn型クラッド層から漏れだした光が、良好に素子内(クラッド防止層3)で吸収され、ファーフールドパターンが実施例1より良好になる。

【0051】[実施例4] 実施例1において、活性層6を以下のように変更する他は同様にして端面発光型発光ダイオードを作製する。

【0052】(活性層6) 次に、温度を800℃にし

て、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.35}Ga_{0.65}Nよりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープのIn_{0.35}Ga_{0.65}Nよりなる井戸層を40オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を3回繰り返し、最後に障壁層を積層した総膜厚520オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層6を成長させる。

【0053】その結果、端面から放出される光は、発光出力が100μWとなるしきい値電流未満の電流で動作させると、波長が470nmで、スポット径が横及び縦ともに実施例1と同等の良好な微少発光点を持つ端面発光型発光ダイオードが得られる。

【0054】

【発明の効果】本発明は、カラーレーザプリンターやバーチャル・リアリティなどを用いられる微少光源として光ビームのスポットサイズを小さくできる470nm付近の青色及び530nm付近の緑色の波長の発光が可能な端面発光型発光ダイオードを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体からなる端面発光型発光ダイオードを示す模式的断面図である。

【図2】図2は、サファイアの面方位を示すユニットセル図である。

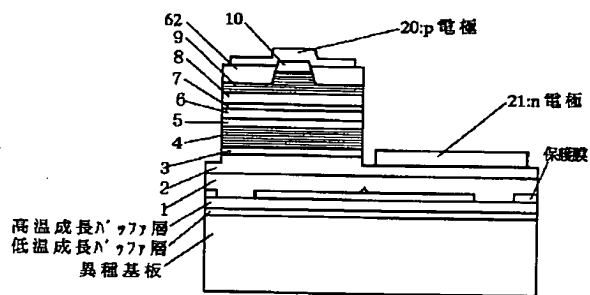
【図3】図3は、オフアングルした異種基板の部分的な形状を示す模式的断面図である。

【図4】図4は、リッジ形状のストライプを形成する一実施の形態である方法の各工程におけるウエハの部分的な構造を示す模式的断面図である。

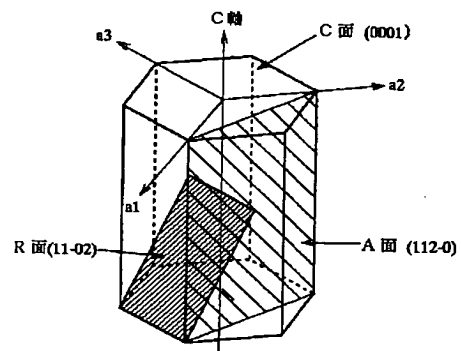
【符号の説明】

- 1・・・窒化物半導体基板
- 2・・・n型コンタクト層
- 3・・・クラック防止層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・n型ガイド層
- 6・・・活性層
- 7・・・p型電子閉じ込め層
- 8・・・p型ガイド層
- 9・・・p型クラッド層
- 10・・・p型コンタクト層

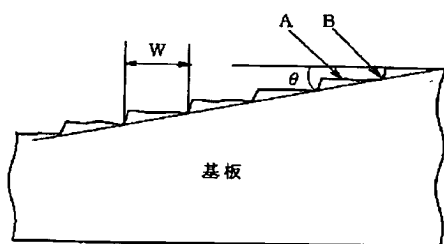
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

